

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДРОССЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Д.А. Довгяло, канд. техн. наук, доц.,

В.А. Тихонович

*Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,
Новополоцк, Беларусь*

Приведены основные принципы проектирования дросселей переменного тока. Рассмотрено влияние формы магнитопровода на характеристики дросселя. Приведена методика определения воздушного немагнитного зазора дросселя.

Ключевые слова: *дроссель, воздушный зазор, магнитопровод.*

Дроссель представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, которая включена последовательно с нагрузкой для подавления пульсаций тока. При этом используются такие характеристики дросселя как малое сопротивление постоянному току и большое сопротивление переменной составляющей тока.

Дроссели переменного тока в отличие от сглаживающего дросселя, не имеет постоянного тока подмагничивания. Поэтому дроссели переменного тока применяются в токоограничительных цепях, в балластных и мощных антенных и фильтрующих устройствах, а также в схемах различных импульсных преобразователей напряжения.

Конструктивно дроссели могут выполняться на тороидальных и Ш-образных сердечниках. Основная роль магнитопровода – увеличение индуктивности дросселя.

Рассмотрим дроссели, магнитопроводы которых изготовлены из электротехнической стали. Наилучшие технические показатели имеют дроссели тороидальной конструкции. По сравнению с традиционными дроссели тороидального типа имеют один немагнитный (воздушный) зазор, что значительно уменьшает поля рассеяния, сокращает габаритные размеры и стоимость.

Для дросселя, как и для трансформатора используется понятие габаритной мощности. Данная характеристика устанавливает связь между электрическими и массогабаритными параметрами.

Габаритная мощность дросселя может быть найдена по формуле:

$$P = UI = \omega LI^2 = 2\pi fLI^2. \quad (1)$$

Габаритная мощность (ВАр) дросселя является только реактивной, т.к. работу данная мощность не совершает.

Индуктивность дросселя может быть определена по следующему выражению

$$L = \mu_e \mu_0 \omega^2 \frac{S_e}{l_e}, \quad (2)$$

где ω – количество витков провода в обмотке;

μ_0 – магнитная постоянная, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

μ_e – эквивалентная (относительная) магнитная проницаемость сердечника;

S_e – эквивалентная площадь поперечного сечения сердечника;

l_e – эквивалентная длина магнитной линии сердечника.

Индуктивность дросселя L и протекающий ток I_{\max} определяют максимальное значение энергии магнитного поля дросселя. При этом энергия дросселя определяется выражением [1]:

$$W_m = \frac{LI_{\max}^2}{2} = \frac{\mu_e \mu_0 \omega^2 S_e}{2l_e} = \left(\frac{B_m l_e}{\mu_e \mu_0} \right)^2; \quad (3)$$

$$W_m = \frac{B_m^2 l_e S_e}{2\mu_e \mu_0}, \quad (4)$$

где B_m – максимальное значение индукции магнитного поля в сердечнике.

Использование воздушного зазора сопровождается рядом эффектов.

Эффект №1 – выпучивание или уширение магнитного потока в зоне зазора (рис. 1). Данное явление обусловлено тем, что часть магнитного потока проходит за пределами керна. При этом магнитный поток в керне и воздушном зазоре равны между собой. Эффект выпучивания поля приводит к увеличению магнитной проницаемости зазора и требует применения поправочных коэффициентов.

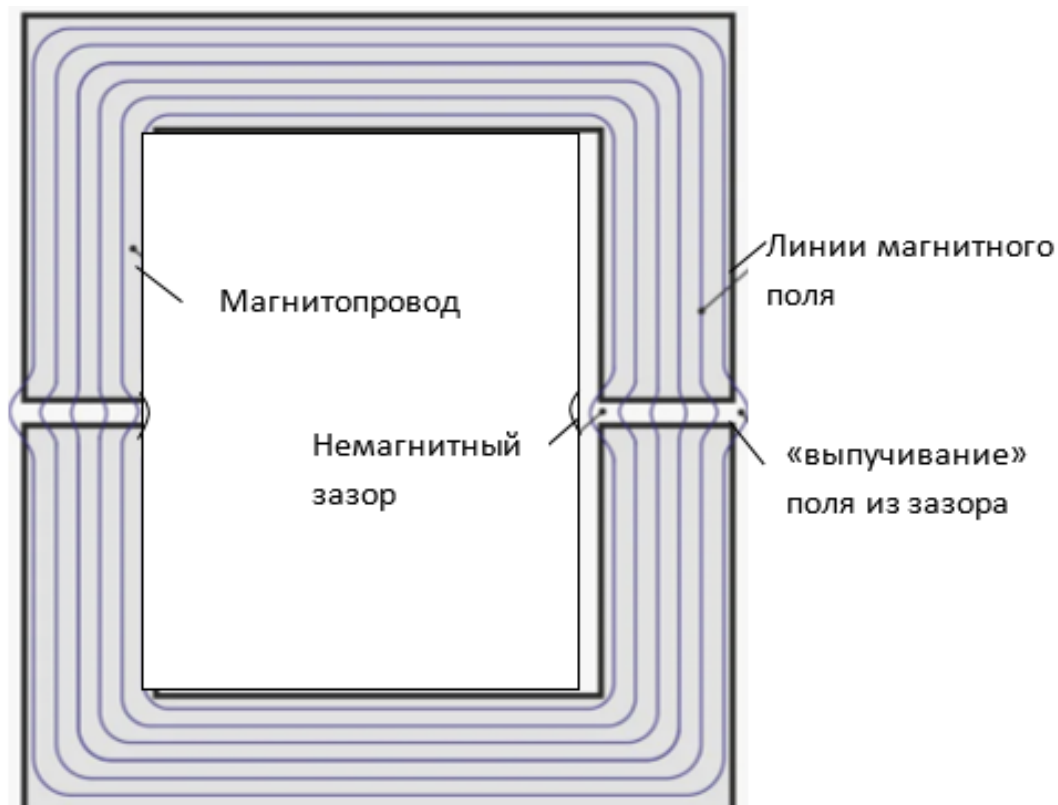


Рисунок 1 – Эффект «выпучивания» поля

Эффект №2 – зазор обеспечивает необходимую линейность характеристики и сопровождается уменьшением падения магнитной проницаемости и индуктивности дросселя. На рис. 2 представлены кривые намагничивания сердечника с зазором и без зазора.

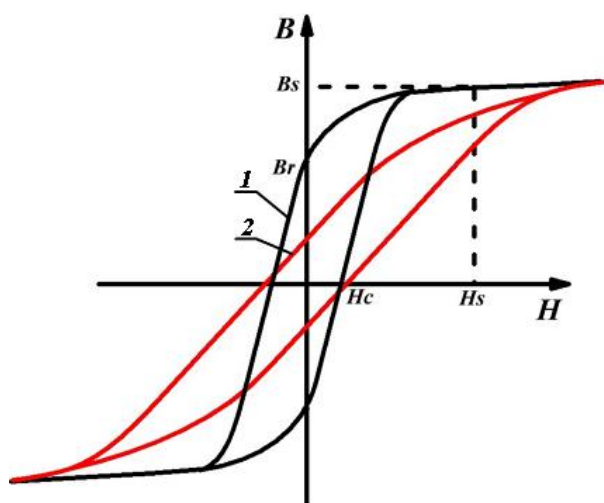


Рисунок 2. – Кривые намагничивания материала сердечника: без зазора (1) и с зазором (2)

Петля гистерезиса сердечника без зазора – линия 1, а петля гистерезиса сердечника, имеющего немагнитный зазор – это линия 2. Видно, что кривая 2 растягивается и поворачивается относительно нулевой координаты. Таким образом, у сердечника дросселя с зазором (характеристика намагничивания которого линейна), насыщение происходит при значительно больших токах в обмотке, чем у сердечника дросселя без зазора.

Эффект №3 – магнитная проницаемость магнитопроводов прогнозируемо снижается до конкретной величины, что позволяет серийно производить дроссели с заданным допуском по индуктивности. При отсутствии немагнитного зазора проницаемость (и следовательно индуктивность обмотки) одинаковых сердечников из одной марки электротехнической стали может отличаться на 50–200%.

Эффект №4 – увеличение потерь в стали магнитопровода.

Таким образом, применение немагнитного зазора целесообразно для увеличения магнитной энергии. Даже относительно большой зазор в магнитопроводе не позволяет считать дроссель полностью линейным устройством [2], поскольку электрическая энергия, расходуемая на перекрытие потерь в сердечнике не пропорциональна квадрату тока. Кроме того, ферромагнитный сердечник обладает нелинейностью, которую также следует учитывать при разработке подобных устройств.

При расчете дросселей следует принимать значение магнитной индукции не более 1,5 Тл (для магнитопроводов из электротехнической стали). При этом отклонение характеристики дросселя (т.е. зависимость индуктивности от рабочего тока) от линейной составляет не более 7%. Максимальная нелинейность имеет место при номинальных и малых токах. Снижение магнитной индукции приведет к увеличению нелинейности, но при этом увеличится стоимость, габариты и масса изделия.

Намотку дросселя целесообразно выполнять таким образом, чтобы немагнитный зазор было опоясан витками обмотки. При использовании дросселей с немагнитным зазором в изделиях с магниточувствительными приборами, следует учитывать, что зазор является источником электромагнитного излучения.

Особое внимание при разработке дросселей следует уделять механическим и климатическим дестабилизирующим воздействиям. Механические вибрации и удары могут вызвать изменение величины воздушного зазора. Увеличение температурных режимов приводят к изменению электрического сопротивления обмоток, а повышенная влажность значительно уменьшает их электрическую прочность.

При использовании в цикле производственного процесса пропитки дросселей (с воздушным зазором, а также без зазора) лаками или компаундами следует иметь в виду, что в процессе затвердевания пропиточных составов в теле магнитопроводов создается дополнительное механическое напряжение. Возникшее механическое напряжение снижает магнитную проницаемость сердечника и, как следствие, снижается индуктивность обмотки дросселя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсеев А.Н. Расчет и оптимизация тороидальных трансформаторов и дросселей. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 368 с.: ил.
2. Бамдас А.М., Савиновский Ю.А. Дроссели переменного тока радиоэлектронной аппаратуры (катушки со сталью). – М.: Советское радио, 1969. – 248 с.